



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Patentschrift  
10 DE 196 46 511 C 1

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
H 02 N 2/00  
H 01 L 41/083

21 Aktenzeichen: 196 46 511.7-32  
22 Anmeldetag: 12. 11. 96  
43 Offenlegungstag: -  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 14. 5. 98

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

Marco Systemanalyse und Entwicklung GmbH,  
85221 Dachau, DE

74 Vertreter:

R.-G. Pfeiffer und Kollegen, 07743 Jena

72 Erfinder:

Reuter, Martin, 85221 Dachau, DE

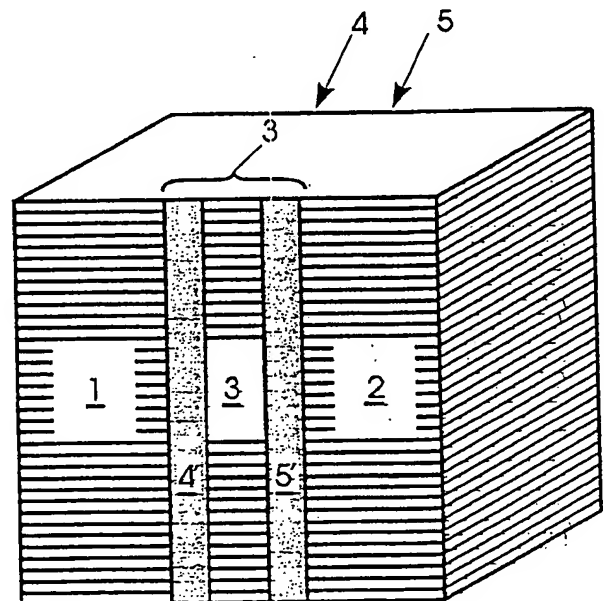
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 1 96 05 214 A1  
DE 44 45 642 A1  
DE 43 32 966 A1  
DE 42 24 284 A1  
EP 05 74 945 A1

VOIGT, Konrad: Piezoaktuatorische Antriebe für  
den  
industriellen Einsatz, In: F & M 1996, Nr. 1-2,  
S. 68-72;

54 Piezoaktuatorisches Antriebs- oder Verstellelement

57 Die Erfindung betrifft ein piezoaktuatorisches Antriebs-  
bzw. Verstellelement, welches insbesondere zur Erzeu-  
gung von Kippbewegungen in hohen Frequenzbereichen  
Verwendung findet. Die Aufgabe der Erfindung, ein piezo-  
elektrisches Stapелеlement zu schaffen, das die erforder-  
lichen äußeren elektrischen Anschlußkontaktierungen ei-  
ner wesentlich verminderten mechanischen Belastung  
aussetzt und insbesondere direkte Kippbewegungen  
ohne weitere Mittel zur Bewegungswandlung realisiert,  
wird dadurch gelöst, daß wenigstens zwei Bereiche (1, 2)  
solcher piezoelektrischer Stapel vorgesehen sind, zwis-  
chen diesen ein Bereich (3) angeordnet ist, der Gebiete  
beinhaltet, die vom elektrischen Feld, herrührend von den  
spannungsbeaufschlagten flächigen Laminatkontaktie-  
rungen, nur teilweise erfaßt bzw. unerfaßt sind und die  
äußeren Elektrodenanschlüsse (4, 4', 5, 5') der Bereiche  
(1, 2) weitestgehend in Richtung der genannten feldredu-  
zierten bzw. feldfreien Gebiete verlagert sind, wobei der  
Bereich (3) mit den Bereichen (1 und 2) zumindest form-  
schlüssig verbunden ist.



DE 196 46 511 C 1

DE 196 46 511 C 1

Die Erfindung betrifft ein piezoaktuatorisches Antriebs- oder Verstellelement, welches insbesondere zur Erzeugung von Kippbewegungen in hohen Frequenzbereichen Verwendung findet.

5 Piezoelektrische Antriebs- und Verstellelemente sind bereits bekannt. Der vorliegenden Erfindung zugrundeliegende Antriebs- bzw. Verstellelemente sind solche, welchen als aktuatorischen Körper piezoelektrische Stapelantriebe einsetzen. Solche Antriebe sind mit Ihren Vorteilen z. B. ausführlich in F & M Feinwerktechnik, Mikrotechnik, Meßtechnik, 104 Jg. 1996, Carl Hanser Verlag München, S. 68ff. beschrieben. Ebenfalls beschreibt DE 44 45 642 A1 einen solchen Antrieb, bei dem eng benachbarte piezoelektrische Doppelstapel zum Einsatz gelangen und der für vielfältigste Antriebs-  
10 aufgaben einsetzbar ist. Ein grundsätzlicher Nachteil bei allen bekannten Stapelantrieben besteht darin, daß die erforderlichen äußeren elektrischen Stapelkontaktierungen (vgl. z. B. DE 42 24 284 A1) einer erheblichen mechanischen Belastung sowohl im statischen als auch im dynamischen Betrieb unterliegen. Die Stapel sind aus einer Vielzahl übereinander geschichteter, miteinander verbundener und jeweils beidseitig flächig kontaktierter piezoelektrischer Folien aufgebaut. Die äußere Kontaktierung der einzelnen Folien untereinander erfolgt jeweils an sich gegenüberliegenden Längsseiten der  
15 Stapel durch eine durchgängige Elektrode, insbesondere eine Lotschicht. Diese Elektroden, als auch feldfreie interaktive Isolationsbereiche sind während der Dehnung und Kontraktion der Stapel höchsten mechanischen und elektrischen Belastungen ausgesetzt. Beim Betrieb solcher Stapel mit Impulsströmen im Amperebereich und Frequenzen im kHz-Bereich erfahren übliche Stapel Dehnungen von 1...2 %, was die Lastwechselzyklen auf kleiner als  $10^9$  deutlich begrenzt. Weiterhin nachteilig bei diesen bekannten Antrieben ist der nicht unerhebliche mechanische Aufwand, um die durch die  
20 Stapel erzeugten reinen Translationsbewegungen in Kippbewegungen umzusetzen (vgl. bspw. DE 44 45 642 A1 oder EP 0 574 945 A1).

Weiterhin sind nach dem Stand der Technik Bauformen für andere Anwendungen bekannt. Beispielsweise beschreibt DE 196 05 214 A1 ein Ultraschallantriebselement, das typischerweise bei Frequenzen von  $> 20$  kHz arbeitet. In dieser Betriebsart treten nur sehr geringe Hübe und damit geringe mechanische Dehnungen der äußeren Kontakte auf, weshalb  
25 dort auch keine besondere Vorschrift für die Anordnung der Elektroden angegeben und erforderlich ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein piezoaktuatorisches Antriebs- oder Verstellelement mit einer Laminatstruktur anzugeben, das die erforderlichen elektrischen Anschlußkontaktierungen einer wesentlich verminderten mechanischen Belastung aussetzt und insbesondere direkte Kippbewegungen, ohne weitere Mittel zur Bewegungswandlung realisiert.

30 Die Aufgabe der Erfindung wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Das Wesen der Erfindung besteht darin, daß ein erster und ein zweiter Bereich aus piezoelektrisch aktivem, insbesondere piezokeramischem Material bestehender, in Laminatstruktur ausgeführter Stapel vorgesehen sind zwischen denen ein dritter Bereich angeordnet ist, der Gebiete beinhaltet, die vom elektrischen Feld, herrührend von den spannungsbeaufschlagten flächigen Laminatkontaktierungen, unerfaßt sind und die äußeren Elektrodenanschlüsse der beiden piezoelektrisch aktiven Bereichen weitestgehend in Richtung genannten feldfreien Gebietes verlagert sind, wobei der dritte Bereich mit dem ersten und zweiten Bereich  
35 zumindest formschlüssig, bevorzugt stoffschlüssig verbunden ist.

Die Erfindung soll nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen und schematischer Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen:

40 Fig. 1 einen ersten schematischen Aufbau eines gemäß der Erfindung ausgebildeten piezoaktuatorischen Antriebs- oder Verstellelementes.

Fig. 2 eine bevorzugte Ausbildung nach Fig. 1,

Fig. 3 eine bevorzugte Verwendung einer Ausführung nach Fig. 2 für bspw. einen Kippspiegelantrieb,

Fig. 4 eine bevorzugte Ausbildung der einzelnen Laminatflächenelektroden gemäß der Erfindung,

Fig. 5 eine kleinste Stapelbreite, die sich aus einer Ausführung nach Fig. 4 herstellen läßt und

45 Fig. 6 und 7 weitere Variationsmöglichkeiten von Laminatflächenelektrodenausführungen.

In Fig. 1 ist ein grundsätzlicher Aufbau vorliegender Erfindung perspektivisch dargestellt. Dabei besteht der Antrieb aus zwei piezoelektrischen Stapeln (bei 1, 2), die aus einer Vielzahl übereinandergeschichteter und miteinander verbundener piezokeramischer Lamellen, die jeweils in der x-y-Ebene beidseitig flächig kontaktiert sind. Zwischen diese beiden Stapel ist formschlüssig mit diesen verbunden ein Bereich 3 eingebracht, dessen Seitenflächen deckungsgleich zu den jeweils anliegenden Seitenflächen der Stapelbereiche 1, 2 ausgeführt sind. Die äußere Kontaktierung der einzelnen, stapelstirnflächig endenden Lamellenelektroden erfolgt über den Gesamtstapel erfassende Elektroden 4' (4) und 5' (5), beispielsweise über eine belotete Sputterkontaktschicht. Gemäß der Erfindung sind diese Elektroden 4' (4), 5' (5) jedoch weitestgehend in den piezoelektrisch passiven Bereich 3 verlagert angeordnet.

55 Bevorzugt ist im Rahmen der Erfindung vorgesehen, wie in Fig. 2 angedeutet, daß die Bereiche 1, 2 und 3 durch einen einheitlichen Stapel aus jeweils ganzflächig die Bereiche 1, 3, 2 überdeckenden durchgängigen Laminatplättchen gebildet sind, wobei eine besondere Elektrodenstruktur zwecks Bildung eines piezoelektrisch passiven Bereichs 3 vorgesehen ist, die anhand von Fig. 4, 5, 6 und 7 näher beschrieben wird. Bei derartigen Ausbildungen kann eine vollständige Verlagerung der äußeren Elektroden 4', 5' in den piezoelektrisch weitestgehend passiven Bereich 3 realisiert werden.

Eine detailliertere Ausführung der Erfindung soll anhand von Fig. 3 beschrieben werden, die schematisch die Verwendungsmöglichkeit des Antriebs für einen Kippspiegel darstellt.

60 Der dargestellte Stapel mit seinen Bereichen 1, 2, 3 soll aus 160 piezokeramischen Folien einer Dicke von 100 µm bestehen. Die einzelnen Folien sind beidseitig mit periodisch wiederkehrenden Kontaktstrukturen, wie in Fig. 4 näher dargestellt, versehen. Die Folien werden so übereinander gestapelt und verfügt, daß die Kontaktstrukturen benachbarter Folien deckungsgleich übereinanderliegen und eine gemeinsame Elektrodenfläche bilden. Durch Teilung mit einer Trennsäge senkrecht zu den Elektrodenflächen (vgl. Trennlinie A-A in Fig. 4) entsteht als kleinstmögliche Einheit die in Fig. 5 dargestellte Querschnittsgeometrie. Durch Metallisierungen 4, 4' und 5, 5' in der Trennebene werden beidseitig die Elektrodenbeläge der Bereiche 1 und 2 so miteinander kontaktiert, daß geradzählige und ungeradzählige Kontaktebenen elektrisch miteinander verbunden sind. Durch Anlegen einer Spannung von 200 V an die Elektroden 4 und 4' sowie 5 und 5'

erfolgt die Polarisation der Piez Lamellen in den Bereichen, wo sich die geraden und ungeraden Kontaktebenen überdecken. So entsteht eine Ausbildung in den piezoelektrisch aktiven äußeren Bereichen 1 und 2 und dem piezoelektrisch passiven inneren Bereich 3 zwischen den Übergangsbereichen 3' und 3". Die äußeren elektrischen Anschlüsse 4, 4' und 5, 5' erfolgen über Lotverbindungen der vier Metallisierungen mit vier nicht dargestellten Anschlußdrähten. Der so entstandene Aktuator hat eine Geometrie von  $l = 16 \text{ mm}$ ,  $b = 14 \text{ mm}$  und  $t = 2,5 \text{ mm}$ . Aufgrund der Periodizität der Kontaktstrukturen sind ungeradzahlige Vielfache der Tiefe  $t$  ebenfalls funktionsfähig (vgl. Fig. 4). Der so geschaffene Aktuator ist grundsätzlich in zwei Betriebsarten betreibbar, wobei die nachfolgend beschriebene erste Betriebsart die im Rahmen vorliegender Erfindung anstrebenswerteste ist.

#### 1. Betriebsart

Es erfolgt eine Spannungsbeaufschlagung mit antisymmetrischer Spannungsänderung von Bereich 1 von 0 . . 200 V bzw. von Bereich 2 von 200 . . 0 V;

#### 2. Betriebsart

Es erfolgt eine Spannungsbeaufschlagung mit symmetrischer Spannungsänderung von Bereich 1 und 2 zwischen 0 . . 200 V.

An den in Figuren dargestellten Meßpunkten MP1 bis MP4 werden folgende Längenänderungen gemessen:

	MP1	MP2	MP3	MP4
Betriebsart 1	17,7 $\mu\text{m}$	17,9 $\mu\text{m}$	0,5 $\mu\text{m}$	6 $\mu\text{m}$
Betriebsart 2	16,0 $\mu\text{m}$	16,5 $\mu\text{m}$	12,5 $\mu\text{m}$	11,0 $\mu\text{m}$ ,

wobei die jeweilig angegebenen Längenänderungen jeweils für den mit Meßtoleranzen versehenen Maximalhub in den einzelnen Bereichen stehen.

In der Betriebsart 1 ergibt sich eine große antisymmetrische Längenänderung im Bereich der Meßpunkte 1 und 2. In der Symmetrieachse, am Meßpunkt MP3 zeigt sich praktisch keine Längenänderung. Im Bereich der äußeren Anschlüsse 4, 4' und 5, 5' (MP4) ist die Längenänderung auf ca. ein Drittel und damit sehr stark gegenüber der Längenänderung in den Bereichen 1 und 2 (MP1, MP2) reduziert. Die aus den Messungen resultierende Verkippung der Oberfläche beträgt  $\pm 0,11^\circ$ . Mit einem solchen Antrieb ist bspw. ein Kippspiegel betreibbar, dessen Auslenkungen oberhalb einer massearmen, biege steifen Druckplatte 6 in Fig. 3 angedeutet ist.

In der Betriebsart 2 ergibt sich eine symmetrische Dehnung von 1 % der Länge mit einer leichten Reduzierung der Dehnung im Bereich 3 (MP3 und MP4). Der erfindungsgemäße Aktuator ist somit auch wie ein nach dem Stand der Technik aufgebauter Einzelaktuator betreibbar.

Wird dieser Stapel mit einer biege steifen massearmen Druckplatte 6, die mit einer Basisplatte 8 über Spannmittel 7 verbunden ist, mit einer symmetrisch wirkenden Kraft von etwa 800 N vorgespannt, die Kippungen um die Symmetrieachse oder Hübe zuläßt, so erhöht sich der maximale Kippwinkel auf  $\varphi = \pm 0,2^\circ$  bzw. der erreichbare Hub in z-Richtung auf 28  $\mu\text{m}$ . Eine solche Anordnung weist eine sehr hohe Resonanzfrequenz von  $\approx 20 \text{ kHz}$  in beiden Betriebsarten auf.

Weitere Variationsmöglichkeiten der erfindungsgemäßen flächigen Elektrodenausbildungen bezogen auf den Bereich 3 sind in den Fig. 6 und 7 schematisch angedeutet. Dabei sind in Fig. 6 alternierende unterschiedlich lange Kontaktschichtausbildungen von positiven und negativen Elektroden in x-Richtung dargestellt, wodurch das elektrische Feld in den Bereich 3' (respektive des nicht dargestellten Bereichs 3") abfällt, was eine geringere Dehnung dieser Gebiete zur Folge hat. In Fig. 7 sind Elektrodenausführungen dargestellt, bei denen im Übergangsbereich 3' kontaktierte Scheibenbereiche (A) mit in diesem Bereich 3' unkontaktierten Scheibenbereichen (B) abwechselnd vorgesehen sind. Die erfindungsgemäße Folge des Abfalls des elektrisch wirkenden Feldes in den Übergangsbereich 3' (respektive des hier ebenfalls nicht dargestellten Bereichs 3") ist vergleichbar mit der zu Fig. 6 beschriebenen. Weitere Varianten der unterschiedlichen Elektrodenausbildung in x-Richtung liegen im Rahmen der Erfindung.

#### Patentansprüche

1. Piezoaktuatorisches Antriebs- oder Verstellelement auf der Basis von piezoelektrischen Stapeln, die aus einer Vielzahl jeweils beidseitig, flächig kontaktierter piezoelektrischer Lamellen bestehen, wobei die äußere Kontaktierung der Laminatstrukturen untereinander durch durchgängige Elektroden (4, 4', 5, 5') erfolgt, wobei wenigstens zwei piezoelektrisch aktive Bereiche (1, 2) solcher piezoelektrischer Stapel vorgesehen sind, zwischen denen ein piezoelektrisch passiver Bereich (3) angeordnet ist, der Gebiete (3', 3") beinhaltet, die vom elektrischen Feld, herrührend von den spannungsbeaufschlagten flächigen Laminatkontaktierungen, nur teilweise erfaßt oder unerfaßt sind und die äußeren Elektroden (4, 4', 5, 5') der Bereiche (1, 2) weitestgehend in Richtung der genannten feldreduzierten bzw. feldfreien Gebiete verlagert sind, wobei der passive Bereich (3) mit den aktiven Bereichen (1 und 2) zumindest formschlüssig verbunden ist.

2. Piezoaktuatorisches Antriebs- oder Verstellelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der passive Bereich (3) mit den aktiven Bereichen (1 und 2) auch stoffschlüssig derart verbunden ist, daß ein einheitliches, die Bereiche (1, 3, 2) bildendes Laminatschichtpaket vorgesehen ist, wobei die Laminatkontaktierungsbelegungen im passiven Bereich (3) unterbrochen ausgeführt sind und die äußeren Elektroden (4, 4', 5, 5') der aktiven Bereiche (1,

2) ausschließlich im vom passiven Bereich (3) erfaßten Gebiet vorgesehen sind.

3. Piezoaktuatorisches Antriebs- oder Verstellelement nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die positiven und negativen Elektroden der Laminatkontaktierungsbelegungen zueinander einen geometrischen seitlichen Versatz in einer ersten Dimension (x-Richtung) aufweisen.

4. Piezoaktuatorisches Antriebs- oder Verstellelement nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden der Laminatkontaktierungsbelegungen aufeinanderfolgender Lamine zueinander einen Versatz in genannter erster Dimension (x-Richtung) aufweisen.

5. Piezoaktuatorisches Antriebs- oder Verstellelement nach einem der Ansprüche 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden der Laminatkontaktierungsbelegungen der aktiven Bereiche (1, 2) in einer zur ersten Dimension (x-Richtung) senkrecht verlaufenden zweiten Dimension (y-Richtung) zueinander eine voneinander abweichende Formgebung aufweisen.

6. Piezoaktuatorisches Antriebs- oder Verstellelement nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß den Elektroden der Laminatkontaktierungsbelegungen im Gebiet des passiven Bereichs (3) ein periodisch strukturierter Verlauf in der zweiten Dimension (y-Richtung) gegeben ist, der derart ausgeführt ist, daß Maxima der einen Elektrodenstruktur mit Minima der benachbarten zugehörigen anderen Laminelektrodenstruktur zusammenfallen.

7. Piezoaktuatorisches Antriebs- oder Verstellelement nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß Einzelstapelantriebe durch Trennung aus einem Gesamtblock bei Einhaltung eines ungeradzahigen Vielfachen einer kleinsten Periode (t) hergestellt sind.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

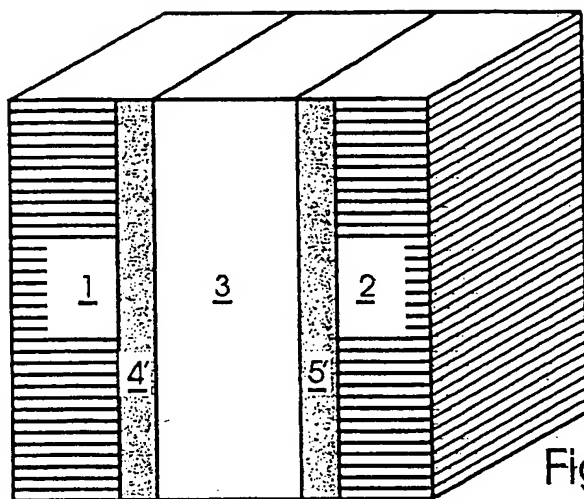


Fig. 1

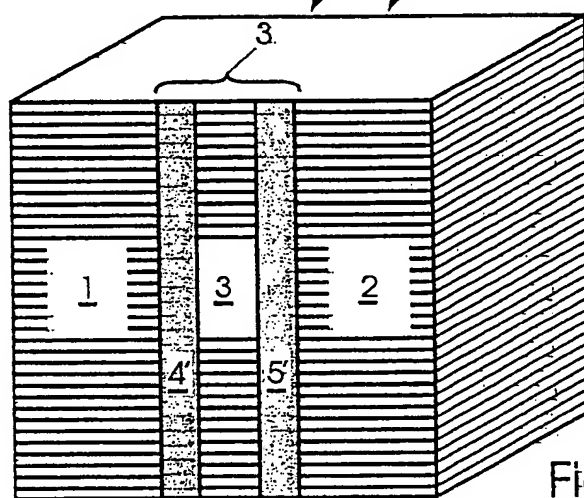


Fig. 2

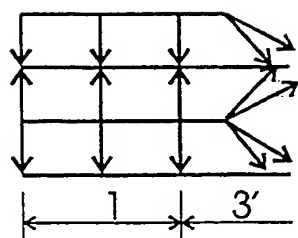


Fig. 6

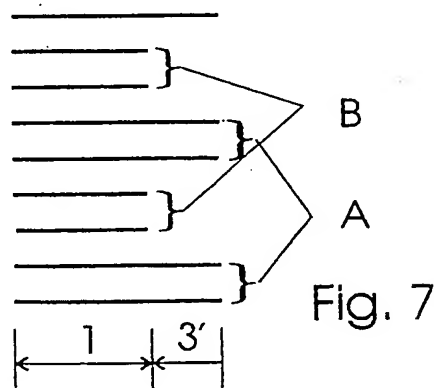


Fig. 7

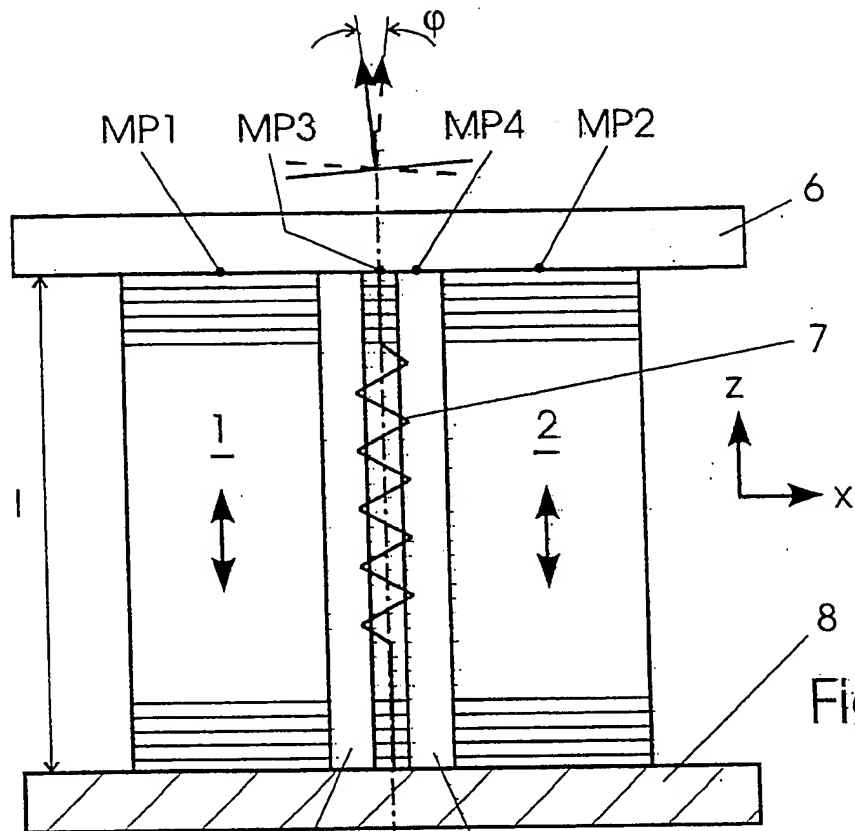


Fig. 3

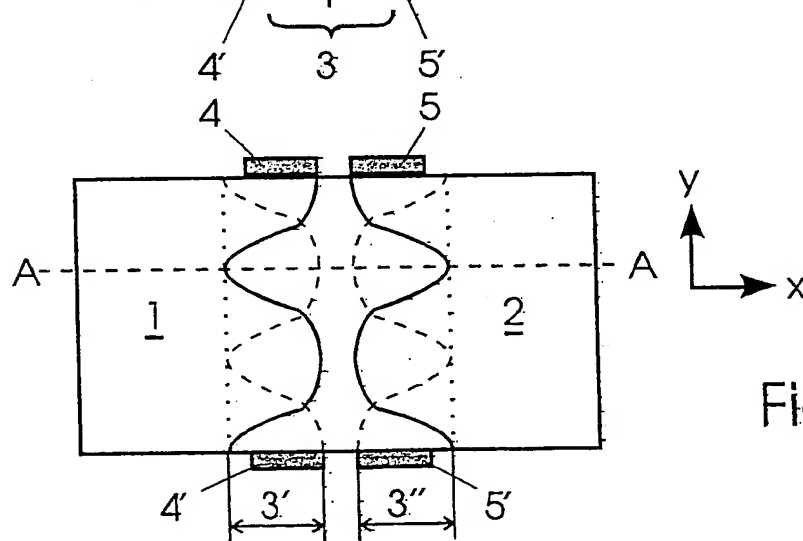


Fig. 4

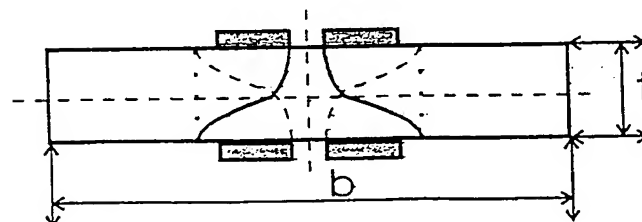


Fig. 5